

Docket No.: WEN-0029
(PATENT)

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:
Naoyuki Maeda et al

Application No.: Not Yet Assigned

Filed: January 13, 2004

Art Unit: N/A

For: CORNEAL SURGERY APPARATUS

Examiner: Not Yet Assigned

CLAIM FOR PRIORITY AND SUBMISSION OF DOCUMENTS

MS Patent Application
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

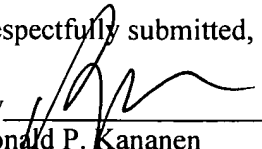
Applicant hereby claims priority under 35 U.S.C. 119 based on the following prior foreign application filed in the following foreign country on the date indicated:

<u>Country</u>	<u>Application No.</u>	<u>Date</u>
Japan	P2003-6929	1/15/03

In support of this claim, a certified copy of the said original foreign application is filed herewith.

Dated: January 13, 2004

Respectfully submitted,

By 

Ronald P. Kananen
Registration No.: 24,104
(202) 955-3750
Attorneys for Applicant

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 1月15日
Date of Application:

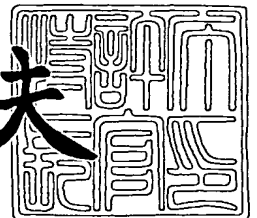
出願番号 特願2003-006929
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP 2003-006929]

出願人 株式会社ニデック
Applicant(s):

2003年11月14日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2003-3094464

【書類名】 特許願

【整理番号】 P10301002

【提出日】 平成15年 1月15日

【あて先】 特許庁長官殿

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府吹田市山田丘 2 - 2 大阪大学大学院医学系研究
科感覚機能形成学教室

【氏名】 前田 直之

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4 株式会社ニデッ
ク拾石工場内

【氏名】 田中 真樹

【特許出願人】

【識別番号】 000135184

【住所又は居所】 愛知県蒲郡市栄町 7 番 9 号

【氏名又は名称】 株式会社ニデック

【代表者】 小澤 秀雄

【電話番号】 0533-67-6611

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 056535

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 角膜手術装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 治療用レーザ光を患者眼角膜に照射するためのレーザ照射光学系を備え、レーザ光を角膜の所期する位置に照射する角膜手術装置において、前記レーザ照射光学系によるレーザ照射位置を移動する移動手段と、患者眼の前眼部像を撮像する撮像手段と、該撮像手段により撮像された画像を処理して前眼部像における特徴点を検出する特徴点検出手段と、該検出された特徴点の位置情報と患者眼が所定の基準状態に置かれたときの前記特徴点の位置情報とに基づいて、患者眼のひき運動状態を検出するひき運動検出手段と、該ひき運動検出手段の検出結果に基づいて前記移動手段を制御する制御手段と、を備えることを特徴とする角膜手術装置。

【請求項 2】 請求項 1 の角膜手術装置において、患者眼の瞳孔を含む前眼部像を撮像する撮像素子を持ち該撮像素子の信号を処理して患者眼に対するレーザ照射軸の位置合わせ状態を検出する位置合わせ検出手段を備え、前記制御手段は前記位置合わせ検出手段の検出結果に対して前記ひき運動検出手段の検出結果による角膜位置の偏位分を補正するように前記移動手段を制御することを特徴とする角膜手術装置。

【請求項 3】 請求項 1 の角膜手術装置において、前記特徴点は患者眼に予め付された複数のマークであることを特徴とする角膜手術装置。

【請求項 4】 請求項 1 の角膜手術装置において、前記特徴点は前眼部の虹彩模様又は角膜輪部であることを特徴とする角膜手術装置。

【請求項 5】 請求項 1 の角膜手術装置において、患者眼の瞳孔を含む前眼部像を撮像する撮像素子を持ち該撮像素子の信号を処理して手術状態に置かれた患者眼の瞳孔位置を検知する瞳孔位置検知手段と、患者眼が所定の基準状態に置かれたときの瞳孔位置に対して手術中に検知された瞳孔位置の偏位情報を得る偏位検知手段とを備え、前記制御手段は、前記ひき運動検出手段の検出結果、前記瞳孔位置検知手段の検知結果及び前記偏位情報に基づいて前記移動手段を制御することを特徴とする角膜手術装置。

【請求項 6】 請求項 5 の角膜手術装置において、さらに前記ひき運動検出手段により検出されたひき運動状態及び前記偏位情報がそれぞれ所定の許容範囲にあるか否かに基づいてレーザ照射の可否を判定する判定手段を備えることを特徴とする角膜手術装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、レーザビームの照射により角膜をアブレーション（切除）する角膜手術装置に関する。

【0002】

【従来技術】

レーザビームの照射により角膜を切除し、角膜表面形状を変化させることにより眼の屈折異常を矯正する角膜手術装置が知られている。この主の装置の多くは、患者眼に固視灯を固視させ、患者眼の瞳孔中心を基準にレーザ照射位置を合わせるようにアライメントを行うが、固視の悪い患者は眼球が動いてしまうことがある。このため、患者眼の前眼部像を撮像した画像から瞳孔位置を検出する機構を設け、瞳孔中心位置ずれに追尾するようにレーザ照射位置を移動する構成とした角膜手術装置がある（特許文献 1 参照）。

【特許文献 1】

特開平 9-149914 号公報

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、瞳孔中心を基準にして常に追尾する方式では、患者眼にひき運動（上転、下転、内転、外転等の単眼での左右上下、斜め方向への眼球運動をいい、本明細書ではこれを眼転という）があった場合、瞳孔と角膜表面の高さの違いから、角膜上の照射位置がずれることになる。すなわち、図 4 に示すように、患者眼が水平状態にあるときに撮像方向（Z 方向）から検出される瞳孔中心 EP_c に対する角膜上の位置は P であるが、眼転発生時に撮像方向から検出される瞳孔中心 EP_c に対する角膜上の位置は、 ΔL 分だけずれた位置 P' となる。精度の良い

角膜屈折矯正手術を行うためには、角膜上の一定位置を基準にレーザ照射することが望ましい。

【 0 0 0 4 】

本発明は、上記従来技術に鑑み、より精度良く角膜上の所期する位置にレーザ照射できる角膜手術装置を提供することを技術課題とする。

【 0 0 0 5 】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明は以下のような構成を備えることを特徴とする。

【 0 0 0 6 】

(1) 治療用レーザ光を患者眼角膜に照射するためのレーザ照射光学系を備え、レーザ光を角膜の所期する位置に照射する角膜手術装置において、前記レーザ照射光学系によるレーザ照射位置を移動する移動手段と、患者眼の前眼部像を撮像する撮像手段と、該撮像手段により撮像された画像を処理して前眼部像における特徴点を検出する特徴点検出手段と、該検出された特徴点の位置情報と患者眼が所定の基準状態に置かれたときの前記特徴点の位置情報とに基づいて、患者眼のひき運動状態を検出するひき運動検出手段と、該ひき運動検出手段の検出結果に基づいて前記移動手段を制御する制御手段と、を備えることを特徴とする。

(2) (1) の角膜手術装置において、患者眼の瞳孔を含む前眼部像を撮像する撮像素子を持ち該撮像素子の信号を処理して患者眼に対するレーザ照射軸の位置合わせ状態を検出する位置合わせ検出手段を備え、前記制御手段は前記位置合わせ検出手段の検出結果に対して前記ひき運動検出手段の検出結果による角膜位置の偏位分を補正するように前記移動手段を制御することを特徴とする。

(3) (1) の角膜手術装置において、前記特徴点は患者眼に予め付された複数のマークであることを特徴とする。

(4) (1) の角膜手術装置において、前記特徴点は前眼部の虹彩模様又は角膜輪部であることを特徴とする。

(5) (1) の角膜手術装置において、患者眼の瞳孔を含む前眼部像を撮像する撮像素子を持ち該撮像素子の信号を処理して手術状態に置かれた患者眼の瞳

孔位置を検知する瞳孔位置検知手段と、患者眼が所定の基準状態に置かれたときの瞳孔位置に対して手術中に検知された瞳孔位置の偏位情報を得る偏位検知手段とを備え、前記制御手段は、前記ひき運動検出手段の検出結果、前記瞳孔位置検知手段の検知結果及び前記偏位情報に基づいて前記移動手段を制御することを特徴とする。

(6) (5)の角膜手術装置において、さらに前記ひき運動検出手段により検出されたひき運動状態及び前記偏位情報がそれぞれ所定の許容範囲にあるか否かに基づいてレーザ照射の可否を判定する判定手段を備えることを特徴とする。

【0007】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。図1は本発明に係る角膜手術装置システムの構成図である。1は角膜形状及び眼屈折力分布を測定する眼科測定装置、200はレーザビームを患者眼に照射する角膜手術装置である。

【0008】

眼科測定装置1は、固定基台2に固設された頭部支持部3と、固定基台2上を移動可能に設けられた移動台4と、この移動台4に上下移動可能に設けられた測定部5と、移動台4を移動操作するためのジョイスティック6、解析結果を表示するモニタ7とを備え、頭部支持部3に患者の顔を垂直に立てた状態で測定が行われる。測定部5には、患者眼の角膜に多数の円環状のプラチドリングを投影する投影光学系10と、レンズ11を介して角膜に投影されたプラチドリング像及び前眼部像を撮像するカメラ部12と、ハーフミラー13と、眼屈折力測定光学系15、等の光学系が配置されている。カメラ部12で撮像された画像及び眼屈折力測定光学系15の測定情報は解析部16に入力される。解析部16は、角膜形状及び屈折力分布の測定データを得た後、その測定データに基づき切除量データを算出する機能を有する。また、カメラ部12は、プラチドリングを投影していない状態の前眼部像の撮像手段として兼用され、その画像は解析部16が持つメモリに記憶される。切除量データ及び前眼部像の画像データは、角膜手術装置200のコンピュータ209に有線通信又は電子記録媒体を介して転送される。

【0009】

図2は角膜手術装置200の外観略図、図3はレーザ照射光学系及び制御系の構成を示す図である。手術装置本体201の内部に配置されたエキシマレーザ光源210からのレーザ光はミラー等の光学系を通り、アーム部202に導かれる。アーム部202は、図2におけるX方向、Y方向に移動可能である。アーム先端部205はZ方向に移動可能である。各方向の移動はモータやスライド機構等からなるX方向駆動部251、Y方向駆動部252、Z方向駆動部253により行われる。206はコントローラであり、ジョイスティックや各種スイッチが配置されている。209は必要な手術条件の各種データ入力やレーザ照射制御データの演算、表示、記憶等を行うコンピュータである。275は患者眼の観察画像を表示するカラーモニタである。290は患者用のベットであり、患者は横臥位の状態です術を受ける。患者眼は、アーム先端部205に取り付けられた顕微鏡部203の顕微鏡下に置かれる。また、ベット290はベット回転機構291により水平方向に回転可能である。

【0010】

図3において、レーザ光源210から水平方向に出射されたレーザビームは、ミラー211、212により反射され、平面ミラー213でさらに90度方向に反射される。平面ミラー213はミラー駆動部214により図における矢印方向に移動可能であり、レーザビームをガウシアン分布方向に平行移動して対象物を均一に切除できる。この点は、特開平4-242644号に詳細に記載されているので、詳しくはこれを参照されたい。

【0011】

215はイメージローテータであり、イメージローテータ駆動部216により中心光軸を中心にして回転駆動され、レーザビームを光軸周りに回転させる。217はミラーである。

【0012】

218はアブレーション領域を円形に制限する可変円形アパーチャであり、アパーチャ駆動部219によりその開口径が変えられる。220はアブレーション領域をスリット状に制限する可変のスリットアパーチャであり、アパーチャ駆動部221により開口幅とスリット開口の方向が変えられる。222、223はビ

ームの方向を変えるミラーである。2 2 4 は円形アパーチャ 2 1 8 およびスリットアパーチャ 2 2 0 を患者眼の角膜 E c 上に投影するための投影レンズである。

【0 0 1 3】

2 2 5 は 1 9 3 nm のエキシマレーザービームを反射して可視光及び赤外光を通過する特性を持つダイクロイックミラーであり、投影レンズ 2 2 4 を経たレーザービームはダイクロイックミラー 2 2 5 により 9 0 ° 偏向されて角膜 E c へと導光される。

【0 0 1 4】

ダイクロイックミラー 2 2 5 の下方には、スリット投影光学系 2 4 0 a , 2 4 0 b が、対物レンズ 2 2 7 の光軸を挟んで左右対称に配置されている。各スリット投影光学系 2 4 0 a , 2 4 0 b は、可視光を発する照明ランプ 2 4 1 a , 2 4 1 b 、コンデンサレンズ 2 4 2 a , 2 4 2 b 、十字スリットを持つスリット板 2 4 3 a , 2 4 3 b 、投影レンズ 2 4 4 a , 2 4 4 b から構成される。スリット板 2 4 3 a , 2 4 3 b は投影レンズ 2 4 4 a , 2 4 4 b に対して角膜 E c と共役な位置関係にあり、その十字スリットの像は対物レンズ 2 2 7 の光軸上のピント位置に常に結像するようになっている。このスリット投影光学系は、Z 方向のアライメントに利用される。

【0 0 1 5】

ダイクロイックミラー 2 2 5 の上方には固視灯 2 2 6 、対物レンズ 2 2 7 、赤外光を反射し可視光を透過するダイクロイックミラー 2 3 0 、顕微鏡部 2 0 3 が配置される。術眼は赤外光源 2 4 6 により照明され、術者は顕微鏡部 2 0 3 により術眼を観察する。ダイクロイックミラー 2 3 0 の反射側の光路には、結像レンズ 2 3 1 、赤外透過フィルタ 2 3 5 、CCD カメラ 2 3 3 が順次配置されている。CCD カメラ 2 3 3 は赤外光源 2 4 6 に照明された前眼部を撮像する。カメラ 2 3 3 の出力は、画像処理部 2 7 4 に接続されている。S L はレーザー照射の基準軸を示す。

【0 0 1 6】

また、ダイクロイックミラー 2 3 0 の上の位置で、かつ顕微鏡部 2 0 3 の双眼光路の間（対物レンズ 2 2 7 の光軸上）の位置には、ミラー 2 7 0 が配置されて

おり、ミラー 270 の反射側光路には結像レンズ 271、可視撮影用の CCD カメラ 273 が配置されている。カメラ 273 は図示を略す可視光源に照明された前眼部像を撮像する。カメラ 273 の出力は画像処理部 274 に接続されている。

【0017】

250 はレーザ光源や各駆動部を制御する制御部である。制御部 250 には、コンピュータ 209、画像処理部 274、コントローラ 206、駆動部 251、252、253 等が接続されている。また、280 は安全シャッタであり、281 はその駆動部 281 である。制御部 250 は異常時等に安全シャッタ 280 を光路に挿入し、レーザ照射を停止する。

【0018】

このレーザ照射装置 200 におけるアブレーションについて簡単に説明する。近視矯正用の球面成分を取り除くようにアブレーションする場合、円形アパーチャ 218 によりレーザビームを制限し、平面ミラー 213 を順次移動してレーザビームをガウシアン分布方向に移動する。そして、レーザビームが 1 面を移動し終わる（1 スキャンする）ごとに、イメージローテータ 215 の回転によりレーザビームの移動方向を変更し、円形アパーチャ 218 により制限された領域をアブレーションする。これを円形アパーチャ 218 の開口領域の大きさを順次変えるごとに行うことにより、角膜の中央部を深く、周辺部を浅くした球面成分のアブレーションが行える。

【0019】

次に、以上のような構成を持つ角膜手術装置システムにおいて、眼転による照射位置ずれ補正の動作を説明する。ここでは、瞳孔中心を基準にアライメント（追尾を含む）を行うものとする。また、眼転状態の検出には患者眼に予め付したマークを利用する場合を説明する。

【0020】

まず、眼科測定装置 1 により、患者眼の角膜形状及び屈折力を測定する。測定に際しては、患者眼の両眼が水平状態となるように、患者の頭部を頭部支持部 3 により固定する。患者の顔は立位の状態とされる。患者眼には眼屈折力測定光学

系 15 が持つ固視灯を固視させる。患者眼と光学系とのアライメントを完了させて各測定をそれぞれ実行した後、解析部 16 に指令して切除量データを得る。求められた切除量データは角膜手術装置 200 側に転送する。

【0021】

角膜手術装置 200 による手術前には、患者眼の眼球に予めマークを付す。例えば、図 5 に示すように 4 つのマーク M1、M2、M3、M4 を予め付しておく。マーク M1～M4 は、好ましくは X Y 座標系の X 方向と Y 方向に角膜を挟んだ対称位置の強膜に付す。マーク M1～M4 の色としては、観察が容易な色素のものが好ましく、代表的にはメチレンブルーが使用できるが、赤色の染料のものを使用しても良い。また、各マーク M1～M4 は、眼転が生じたときにその長さの変化が分かるように、矩形形状が好ましいが、点状のマークを並べて付すことでも良い。マークは、スリットランプ等を観察しながら適当なマーキング部材を使用して付すことができるが、各マークの位置関係を一定にしたものを使用すると更に良い。

【0022】

マーク M1～M4 を付した後、前眼部像を眼科測定装置 1 により撮像する。マーク M1～M4 を付した前眼部像も角膜の切除量を決定するための測定時と同じように、患者の顔を頭部支持部 3 により固定し、眼が水平状態となるようにして撮像すると良い。これにより、測定時と同じ状態でマーク M1～M4 を含む前眼部像の画像がカメラ部 12 により撮像され、解析部 16 のメモリに記憶される。このときのマーク M1～M4 を含む画像を眼転補正の基準状態とする。

【0023】

マークを含む前眼部像の画像データをコンピュータ 209 に転送入力する。コンピュータ 209 は、その画像を処理して基準状態におけるマーク M1～M4 の位置情報（マーク間距離や瞳孔中心に対する距離、各マークの長さ等）を求める。なお、この処理は眼科測定装置 1 側で行い、コンピュータ 209 にはその位置情報のみを入力しても良い。

【0024】

患者をベッド 290 に寝かせた後、アーム先端部 205 を移動して患者眼を顕

微鏡部 203 下に位置させる。患者眼には固視灯 226 を固視させる。術者は顕微鏡部 203 により患者眼を観察しながらアライメントする。患者眼の瞳孔位置が観察できるようになると、自動アライメント及び追尾が可能となる。カメラ 233 で撮像された前眼部像の画像は画像処理部 274 に入力され、画像処理部 274 により瞳孔中心位置が検出される（瞳孔中心位置の検出については、特開平 9-149914 号公報を参照されたい）。制御部 250 は瞳孔中心位置の検出結果を基に、駆動部 251、252 を制御しアーム部 202 を X Y 方向に移動することにより、照射基準軸 S L を瞳孔中心位置に合わせる。なお、Z 方向のアライメントは、スリット投影光学系 240 a, 240 b により角膜上に投影される 2 つの十字スリット投影象が、角膜頂点位置で重なるようにする（この詳細は、特開平 6-47001 号公報参照）。

【0025】

また、マークが付された患者眼の前眼部像は CCD カメラ 273 により撮像され、その画像信号は画像処理部 274 に入力される。画像処理部 274 は画像処理により前眼部像に含まれるマーク M1、M2、M3、M4 の位置情報を検出し、この検出情報とコンピュータ 209 により得られている基準状態のマーク M1、M2、M3、M4 の位置情報とに基づいて、患者眼の眼転情報を求める。なお、眼科測定装置 1 側で撮像され前眼部画像と CCD カメラ 273 で撮像されて処理される前眼部画像の撮像倍率が異なる場合には、その倍率を補正して両者の検出情報を一致させる。

【0026】

眼の眼転状態を検出する方法を説明する。基準画像（図 5 参照）におけるマーク M1 とマーク M2 間の距離（各マークの内側エッジの距離）を LA、マーク M3 とマーク M4 間の距離を LB、マーク M1 の X 方向の長さを SA1、マーク M2 の X 方向の長さを SA2、マーク M3 の Y 方向の長さを SB1、マーク M4 の Y 方向の長さを SB2 とする。

【0027】

いま、図 5 の基準状態に対して、図 6 のように眼球が X（-）方向（図 5 の左方向）に角度 ψ だけ眼転したとする。基準状態にあるときに Z 方向から検出され

る瞳孔中心 E P c に対する角膜上の位置は P であるが、眼転発生時に Z 方向から検出される瞳孔中心 E P c に対する角膜上の位置は、 ΔL 分だけ偏位した位置 P' となる。ここで、Z 方向から検出されるマーク M 1 とマーク M 2 間の距離 LA は、角度 ψ の眼転発生により LA' に変化する。LA、 ψ 、LA' については、
$$\cos \psi = LA' / LA \quad \cdots \text{(式1-1)}$$

の関係式が成り立つので（図 7 参照）、これから眼転角度 ψ が求められる。虹彩面から角膜上の位置 P までの高さを h とすると、眼転による P' から P への偏位量 ΔL は、

$$\Delta L = h \times \sin \psi \quad \cdots \text{(式1-2)}$$

として求められる。虹彩面から角膜上の位置 P までの高さを h は、平均的な値を使用するか、事前に計測して入力しておく。

【0028】

また、眼球が X（-）方向に眼転すると、マーク M 1 の長さ SA1 及びマーク M 2 の長さ SA2 は、それぞれ SA1' 及び SA2' に変化する。眼転の傾斜方向は、SA1 と SA1'（又は S 2 x と S 2 x'）を比較することにより判定できる。すなわち、（-）X 方向に眼転したときは、 $SA1 > SA1'$ となり、逆に、（+）X 方向に眼転したときは、 $SA1 < SA1'$ となる。

【0029】

Y 方向に眼球が眼転した場合は、基準状態にあるときのマーク M 3 とマーク M 4 間の距離 LB に対して、眼転発生時に変化する距離 LB' により偏位量 ΔL が求められ、マーク M 3 の長さ SB1 又はマーク M 4 の長さ SB2 の変化から、眼転方向が（-）Y 方向又は（+）Y 方向の何れであるかが判定できる。

【0030】

また、眼転が X Y 平面で、ある方向 $\theta 1$ となった場合は、上記の X 方向と Y 方向の眼転の複合となる。これを以下説明する。いま、図 8 における軸 N 1 を回転軸として、N 1 に直交する軸 N 2 の方向に角度 ψ の眼転が生じたとする。軸 N 2 は X 方向に対して角度 $\theta 1$ にある軸とする。この眼転により、各マークの検出点 Ma1, Ma2, Ma3, Ma4 は、それぞれ Ma1', Ma2', Ma3', Ma4' に移動する。

【 0 0 3 1 】

ここで、Malが移動するMal' を考え、図 9 に示すように、Malの移動方向と軸N 1 の交点をBとし、眼転の中心基準点をO（瞳孔中心位置が移動しない場合は、Z方向から見た瞳孔中心E P c が基準点Oとなる）とする。△O・Mal・Bの線分O・Malと線分Mal・Bのなす角度は $\theta 1$ で表される。線分O・Malの長さを l 、線分Mal・Bの長さを $l a$ 、線分B・Oの長さを $l b$ 、線分Mal'・Bの長さを $l a'$ とすると、

$$l a = l \cos \theta 1 \quad \cdots \text{(式2-1)}$$

$$l a' = l a \cos \psi = l \cos \theta 1 \cos \psi \quad \cdots \text{(式2-2)}$$

$$l b = l \sin \theta 1 \quad \cdots \text{(式2-3)}$$

となる。また、△O・Mal'・Bの線分O・Mal' と線分Mal'・Bのなす角度を $\theta 2$ 、線分O・Mal' の長さを $l x$ とすると、

$$l a' = l x \cos \theta 2 \quad \cdots \text{(式2-4)}$$

$$l b = l x \sin \theta 2 \quad \cdots \text{(式2-5)}$$

となる。これらの式を整理すると、

$$l x \cos \theta 2 = l \cos \theta 1 \cos \psi \quad \cdots \text{(式2-6)}$$

$$l x \sin \theta 2 = l \sin \theta 1 \quad \cdots \text{(式2-7)}$$

となる。

【 0 0 3 2 】

次に、Ma4が移動するMa4' を考え、図 1 0 に示すように、Ma4の移動方向と軸N 1 の交点をCとする。△O・Ma4・Cの線分O・Ma4と線分O・Cのなす角度は $\theta 1$ で表される。線分O・Ma4の長さを l 、線分Ma4・Cの長さを $l c$ 、線分C・Oの長さを $l d$ 、線分Mal'・Cの長さを $l c'$ とすると、

$$l c = l \sin \theta 1 \quad \cdots \text{(式2-8)}$$

$$l c' = l c \cos \psi = l \sin \theta 1 \cos \psi \quad \cdots \text{(式2-9)}$$

$$l d = l \cos \theta 1 \quad \cdots \text{(式2-10)}$$

となる。また、△O・Ma4'・Cの線分O・Ma4' と線分Ma4'・Cのなす角度を $\theta 3$ 、線分O・Ma4' の長さを $l y$ とすると、

$$l c' = l y \cos \theta 3 \quad \cdots \text{(式2-11)}$$

$$l d = l y \sin \theta 3 \quad \cdots \text{(式2-12)}$$

となる。これらの式を整理すると、

$$l y \cos \theta = l \sin \theta l \cos \psi \quad \cdots \text{(式2-13)}$$

$$l y \sin \theta 3 = l \cos \theta l \quad \cdots \text{(式2-14)}$$

となる。

【0033】

そして、上記の式2-6、式2-7、式2-13、式2-14より、未知数 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ 、 $\theta 3$ を消去した式にすると、

$$\cos^2 \psi = (l x^2 + l y^2 - l^2) / l^2 \quad \cdots \text{(式2-15)}$$

となり、眼転角度 ψ が求められる。 ψ が分かれば、式2-6、式2-7、式2-13、式2-14を変形することにより、眼転方向 $\theta 1$ が、

$$\cos^2 \theta 1 = (l x^2 - l^2) / (l^2 \cos^2 \psi - l^2) \quad \cdots \text{(式2-15)}$$

により求められる。

【0034】

また、眼転方向 $\theta 1$ 、眼転角度 ψ が以下のようにしても求めることができる。図8において、各マークの検出点 $Ma1$ 、 $Ma2$ 、 $Ma3$ 、 $Ma4$ が、点 O を中心とした円 $C r$ 上にあるとする。眼転により各マークの検出点 $Ma1$ 、 $Ma2$ 、 $Ma3$ 、 $Ma4$ が、それぞれ $Ma1'$ 、 $Ma2'$ 、 $Ma3'$ 、 $Ma4'$ に移動したとき、この $Ma1'$ 、 $Ma2'$ 、 $Ma3'$ 、 $Ma4'$ を通る楕円 $E 1$ を算出する。この楕円 $E 1$ の短軸方向を求めることにより、眼転方向 $\theta 1$ が求められる。なお、検出点は4個でなくても、少なくとも3個の検出点があれば円 $C r$ と楕円 $E 1$ が求められる。そして、眼転角度 ψ は、円 $C r$ の直径 L (半径 l) から変化する楕円 $E 1$ の短軸径 L' (点 O からの距離 l') とから、式1-1を使用して求められる。眼転角度 ψ が分かれば、角膜上の位置 P と P' の偏位量 ΔL が式1-2により求められる。また、眼転方向 $\theta 1$ が X 方向の (+) 又は (-)、 Y 方向の (+) 又は (-) の何れにあるかは、各マークの長さの変化により分かる。上記では極座標系で考えたが、直交座標系に変換して算出しても良い。

【0035】

アライメントや眼球追尾においては、上記のような眼転情報の検出結果を基に

、制御装置 250 はカメラ 233 の画像から検出される瞳孔中心位置に対して、さらに眼転方向に上記の偏位量 ΔL を補正するように照射基準軸 SL を XY 移動する。これにより、基準状態における角膜上の位置 P にレーザ照射位置が合わせられる。

【0036】

患者眼に対するレーザ照射の位置合わせは、必ずしも直接検知される瞳孔中心位置を基準しなくても良い。マークを付す場合にはそのマークの中心位置を基準にすることができる。あるいは、前眼部画像から角膜輪部の位置を検出し、その中心を位置合わせの基準とすることもできる。

【0037】

上記では、眼転状態の検出にマークを利用したが、これは前眼部に含まれる他の特徴点を利用する方法でも良い。例えば、眼科測定装置 1 による基準状態における画像と手術時の前眼部画像とから、図 11 に示すように、それぞれ虹彩模様の特徴点 $Mb1 \sim Mb4$ の位置情報を画像処理して検出する。瞳孔の縮瞳や散瞳の影響を少なくする為、虹彩模様の特徴点は角膜輪部側が良い。眼転情報の検出は、マークの検出転の代わりに、虹彩模様の特徴点 $Mb1 \sim Mb4$ を用いて処理すれば良い。また、角膜輪部 Km も特徴点として使用可能である。角膜輪部のエッジ位置を画像処理により検出し、図 8 と同じく、患者眼が基準状態にあるときに求めた円 C_r と手術中に求められる楕円 E_l により、眼転情報が得られる。

【0038】

マークを利用しない場合、眼転方向が XY の (+) 又は (-) の何れの方角であるかは、虹彩模様の長さ等の変化を利用すれば良い。あるいは、他の検出情報を利用することもできる。本実施形態の装置では、 Z 方向のフォーカス検出用のスリット投影光学系 240a, 240b により虹彩に投影される 2 つのスリット象の変化を利用することができる。図 12 (a) は、虹彩面が水平状態にあるときの虹彩に投影される 2 つのスリット象 $S1a$ と $S1b$ を示す。虹彩面が水平状態にあるときは、2 つのスリット象 $S1a$ と $S1b$ は、平行でかつ基準点 O に対して等間隔の位置関係にある。図 12 (b) は、虹彩面が Y (+) 方向に傾斜した状態を示し、スリット象 $S1a$ と $S1b$ は Y (+) 方向で開いた位置関係とな

る。図12(c)は、虹彩面がX(－)方向に傾斜した状態を示し、基準点Oに対するスリット象S1aとS1bの間隔は、スリット象S1a側の方が離れた位置関係となる。これらスリット象のS1aとS1bの位置関係の変化により、何れの方に傾斜しているかが判定できる。

【0039】

以上の説明では、瞳孔中心位置が基準状態に対して手術中も偏位しないものとしたが、患者の中には緊張のあまり、縮瞳や散瞳により瞳孔径が変化し、瞳孔中心位置が偏位する場合がある。このような場合には、その偏位分を補正するように、レーザ照射位置を移動することが好ましい。

【0040】

瞳孔径の変化による瞳孔位置の偏位の検知について説明する。図13は、瞳孔位置の偏位を検知するために、患者眼にプルキンエ象を形成するための指標投影光学系を設けた光学系の構成図であり、図3に対して同一の構成要素部分は一部図示を略している。指標投影光学系285は、ミラー223の背後に配置された赤外光源286、レンズ287を備える。ミラー223はエキシマレーザを反射し、赤外光を透過するダイクロイックミラーとする。また、ダイクロイックミラー225は、一部赤外光を反射する特性とする。赤外光源286を出射した光束は、レンズ287、レンズ224により平行光束とされ、ミラー225を反射して照射基準軸LSの方向から患者眼角膜に向かう。患者眼角膜には輝点（プルキンエ象）が形成され、これがカメラ233により撮像される。カメラ233により撮像された前眼部画像から、図14(a)に示すように、輝点Prと瞳孔中心EPcとの位置関係が検出される。

【0041】

なお、眼科測定装置1においても、同様な角膜反射輝点を形成するための光束を撮像光軸方向から投影する構成とし、手術前の患者眼の前眼部像を撮像して輝点Prと瞳孔中心EPcとの位置関係を得ておく。この位置関係を基準状態とする。

【0042】

ここで、基準状態のときは輝点Prと瞳孔中心位置EPcが一致しているもの

とすると、手術時に検出される瞳孔中心位置 $E P c$ の輝点 $P r$ に対する位置ずれは、眼転によるものと、瞳孔中心自体のずれによるものがある。眼転による位置ずれは、図 1 4 (a) から、

$$\Delta X = R \sin \phi - \Delta L$$

として求められる。 ϕ 、 ΔL は前述の眼転検出から求められる値である。 R は角膜曲率であり、患者眼の計測結果から得られる。

【0 0 4 3】

手術時に検出された瞳孔中心位置 $E P c$ の輝点 $P r$ に対する位置ずれを Δx としたとき、 ΔX と Δx とを比較し、両者がほぼ同じであるなら、眼転のみによる位置ずれと判断できる。 ΔX と Δx とが異なる場合、その差分を基準状態に対する瞳孔中心位置の偏位と見なすことができる。図 1 4 (b) は、眼転が生じておらず ($\Delta X = 0$)、瞳孔径が変化したことにより、瞳孔中心位置 $E P c$ が偏位した場合を示している。

【0 0 4 4】

したがって、 ΔX と Δx の差分だけ補正するようにレーザ照射位置を移動すれば、瞳孔中心の偏位がある場合も精度良くレーザ照射ができる。なお、瞳孔中心位置のずれが大きくなると、レーザ照射位置の位置合わせの誤差も大きくなるので、瞳孔中心の偏位が所定の許容範囲にあるか否かによりレーザ照射の可否を判定し、その偏位が大きいときは、レーザ照射を中断することが好ましい。レーザ照射の停止時には、制御部 2 5 0 により安全シャッタ 2 8 0 が光路に挿入される。

【0 0 4 5】

また、眼転は患者が緊張するあまりに固視ずれによって生じていると判断できるので、眼転についても所定の許容範囲にあるか否かにより、レーザ照射の可否を判定し、その偏位が大きいときは、レーザ照射を中断することが好ましい。

【0 0 4 6】

以上説明した実施形態は種々の変容が可能である。例えば、レーザ照射光学系は、0. 1 ～ 1. 0 mm 程の小スポットに形成されたレーザビームを、XY の 2 次元方向にスキャンするスキャンミラー (2 つのガルバノミラーで構成

できる)を用いた構成でも良い。追尾におけるレーザ照射位置の移動は、スキャニングミラーを駆動制御してレーザ光軸を移動することにより行うことができる。また、大ビームと開口径可変アパーチャを用いた照射光学系の場合、投影レンズの軸を偏心移動させる機構を設けることにより、レーザ照射位置を移動できる。

【 0 0 4 7 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、眼球にひき運動（眼転）が生じた場合、さらには瞳孔位置ずれがある場合にも、より精度良く角膜上の所期する位置にレーザ照射が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明に係る角膜手術装置システムの構成図である。

【図 2】

角膜手術装置の外観略図である。

【図 3】

レーザ照射光学系及び制御系の構成を示す図である。

【図 4】

眼転（ひき運動）が生じたときの角膜上の所定位置の偏位を示す図である。

【図 5】

患者眼の眼球に予め付されたマークの検出画像を示す図である。

【図 6】

マークによる眼転状態の検出を説明する図である。

【図 7】

眼転状態の検出を説明する図である。

【図 8】

眼転状態の検出を説明する図である。

【図 9】

眼転状態の検出を説明する図である。

【図 1 0】

眼転状態の検出を説明する図である。

【図 1 1】

虹彩模様を特徴点とする場合の例を示す図である。

【図 1 2】

2つのスリット象を利用した眼転方向の検出方法を説明する図である。

【図 1 3】

患者眼にプルキンエ象を形成するための指標投影光学系を設けた光学系の構成図である。

【図 1 4】

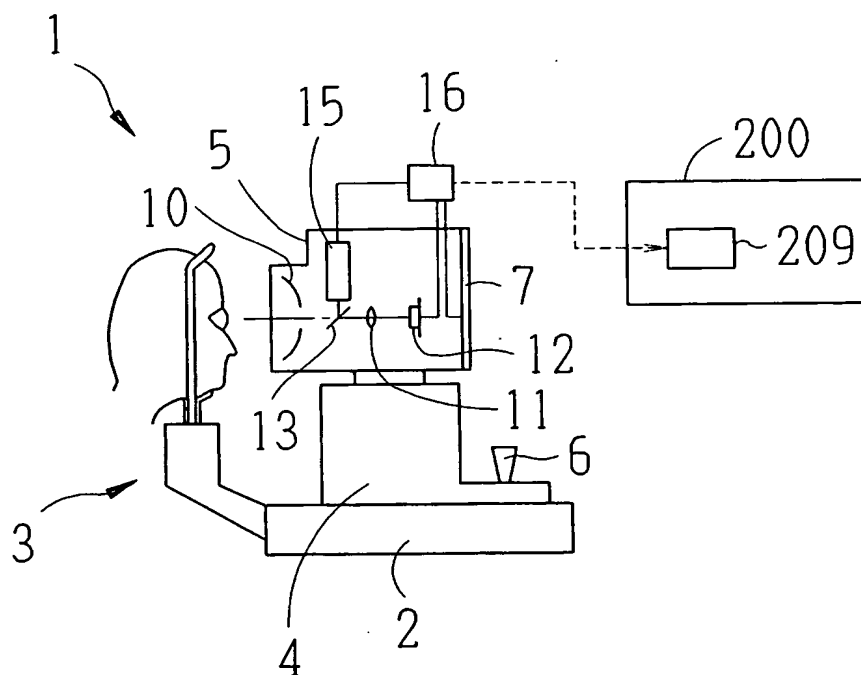
指標投影光学系により形成される輝点に対する瞳孔中心の位置ずれを説明する図である。

【符号の説明】

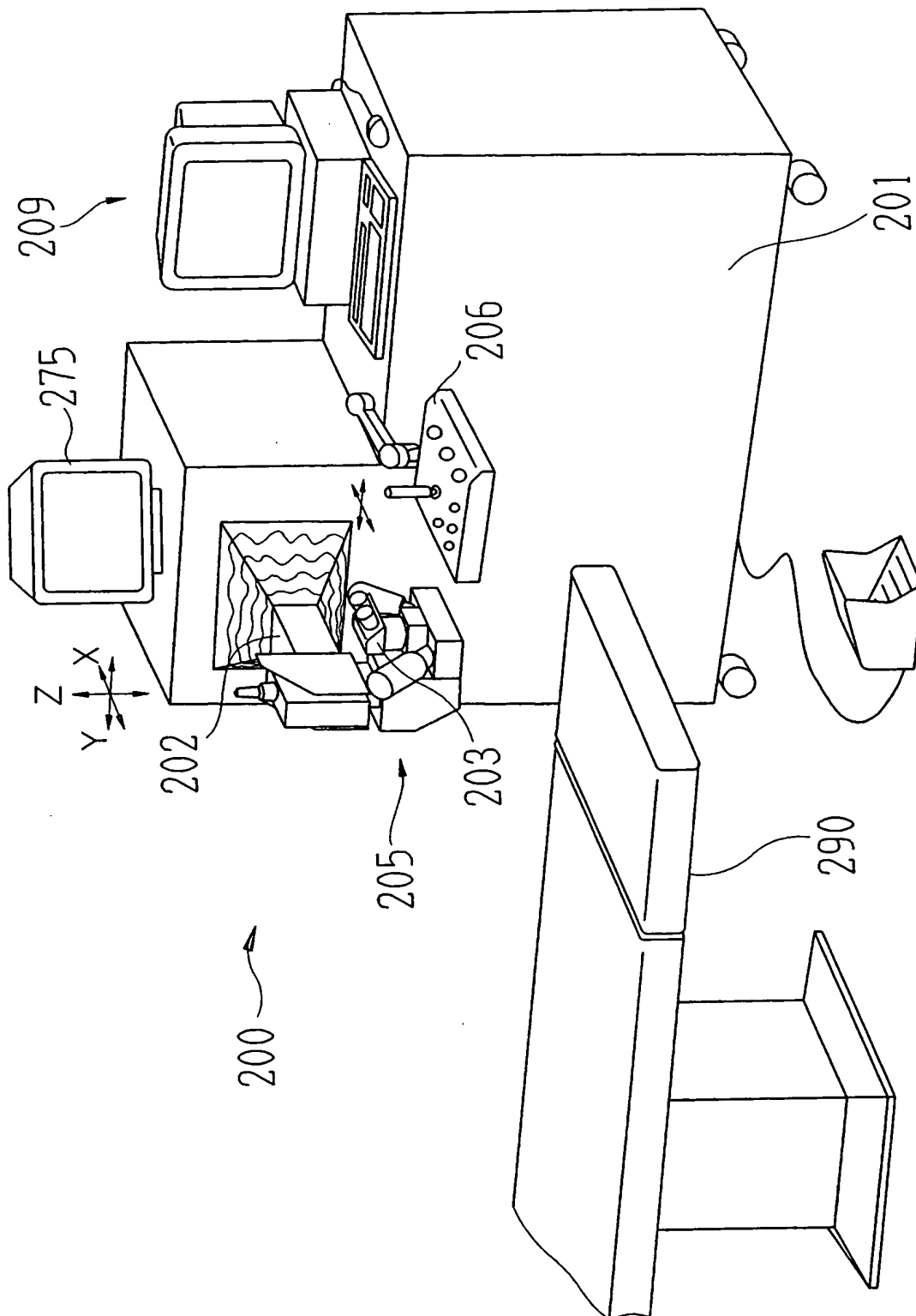
- 1 眼科測定装置
- 2 0 0 角膜手術装置
- 2 0 2 アーム部
- 2 0 9 コンピュータ
- 2 1 0 レーザ光源
- 2 5 1 X方向駆動部
- 2 5 2 Y方向駆動部
- 2 3 3 C C Dカメラ
- 2 5 0 制御部
- 2 7 3 C C Dカメラ
- 2 7 4 画像処理部

【書類名】 図面

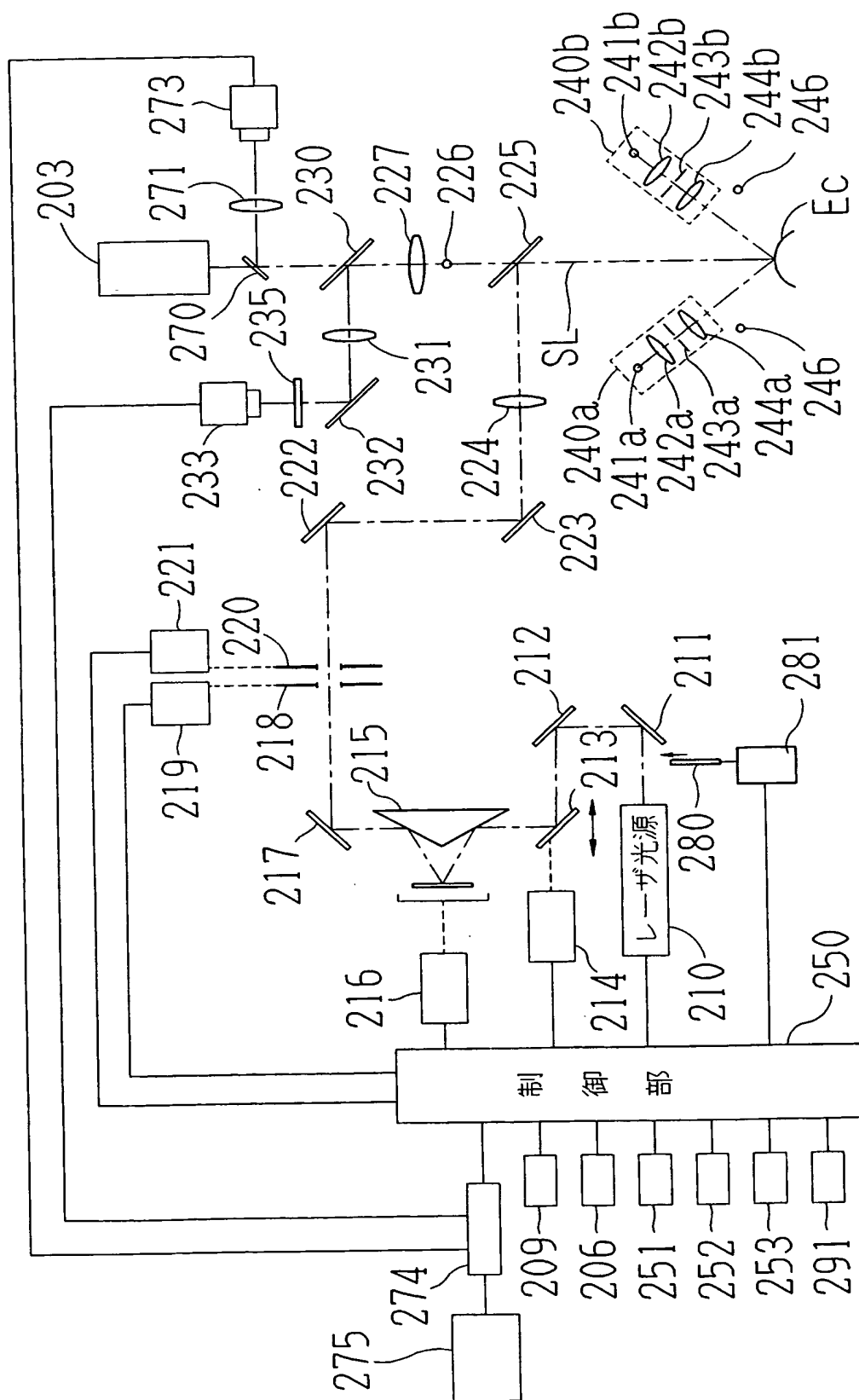
【図 1】



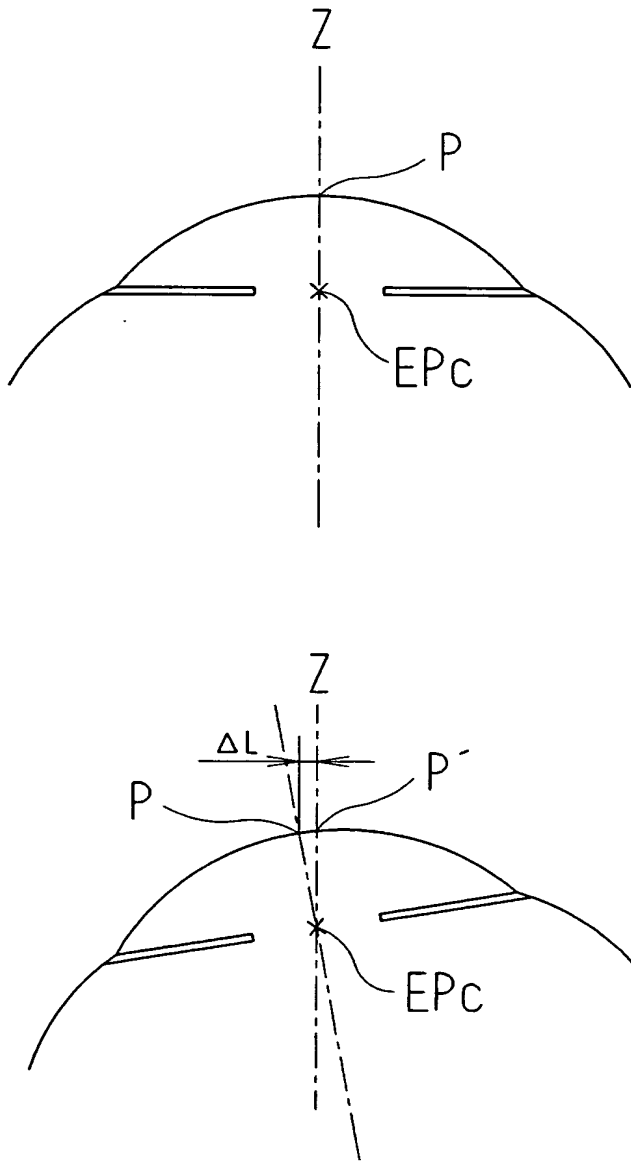
【図 2】



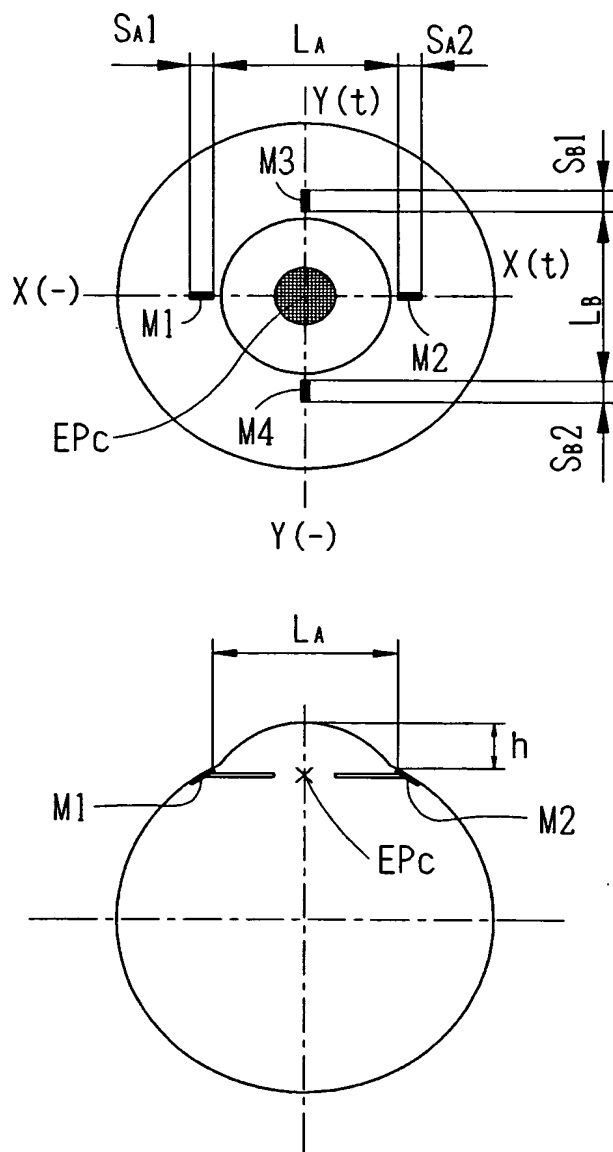
【図 3】



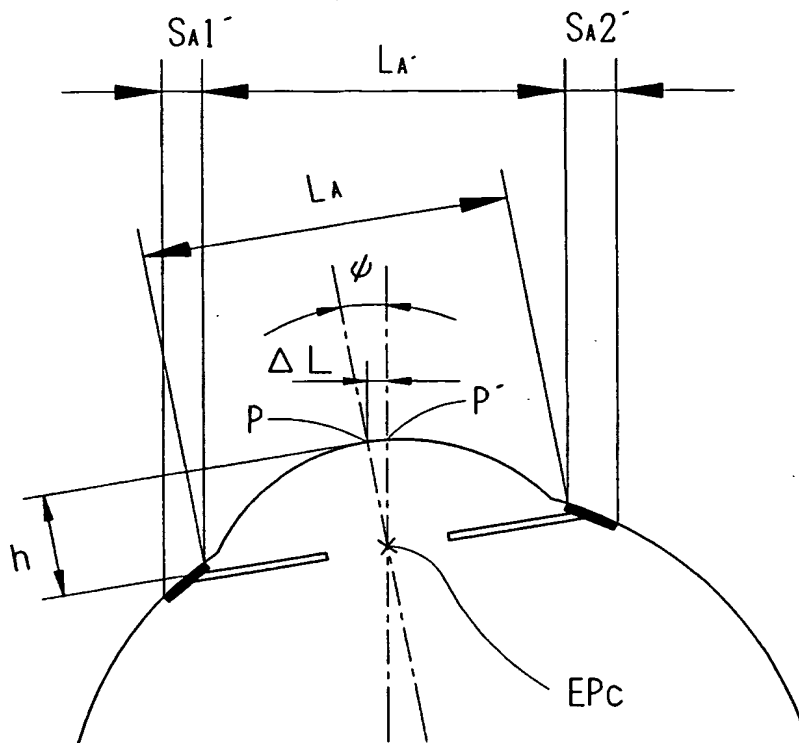
【図 4】



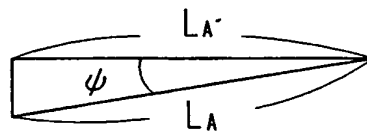
【図 5】



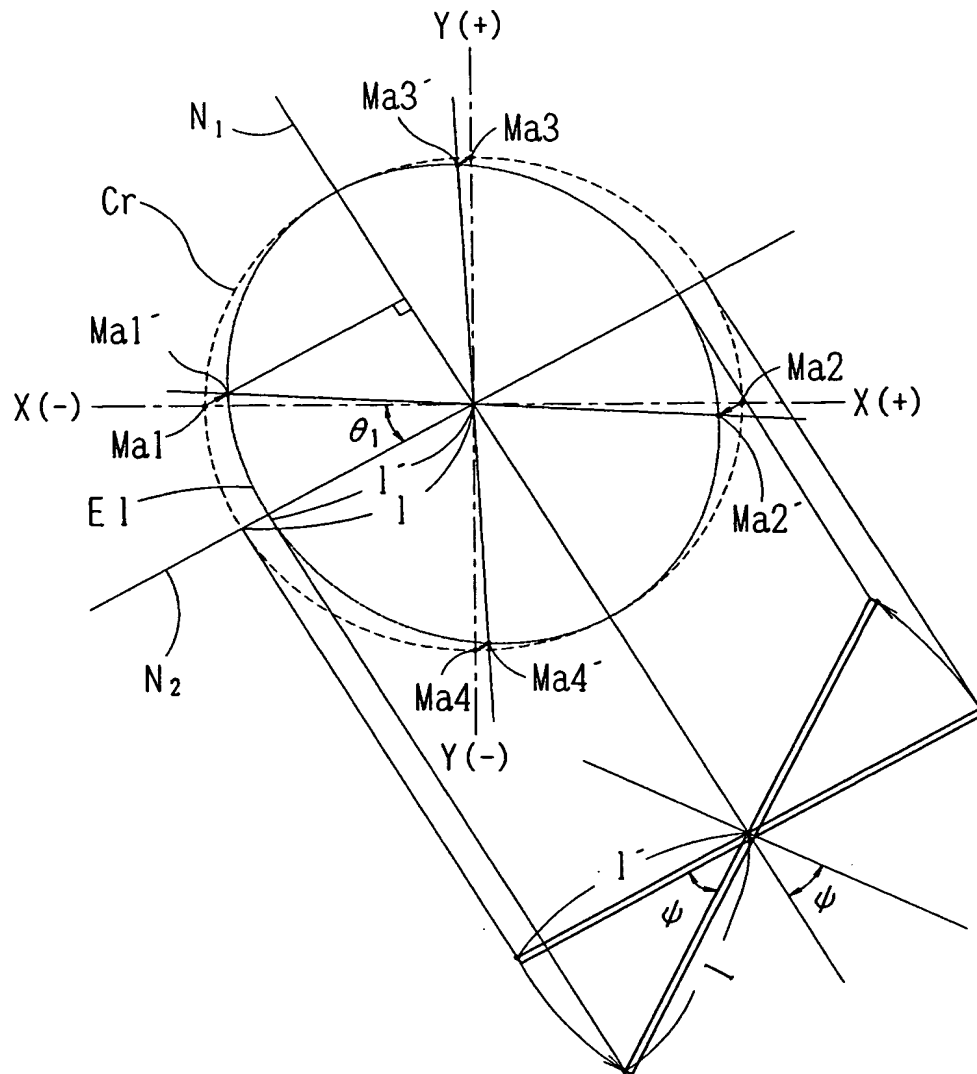
【図 6】



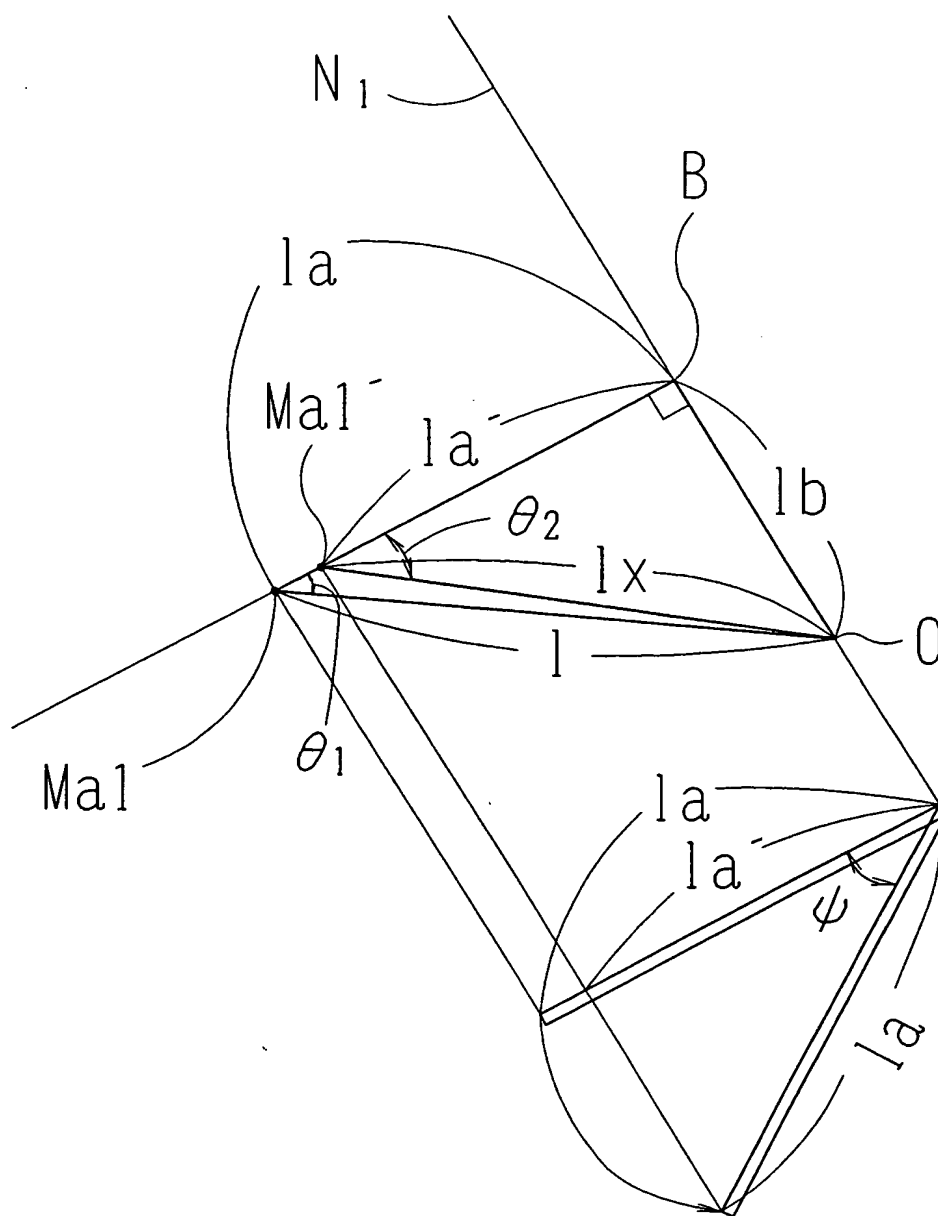
【図 7】



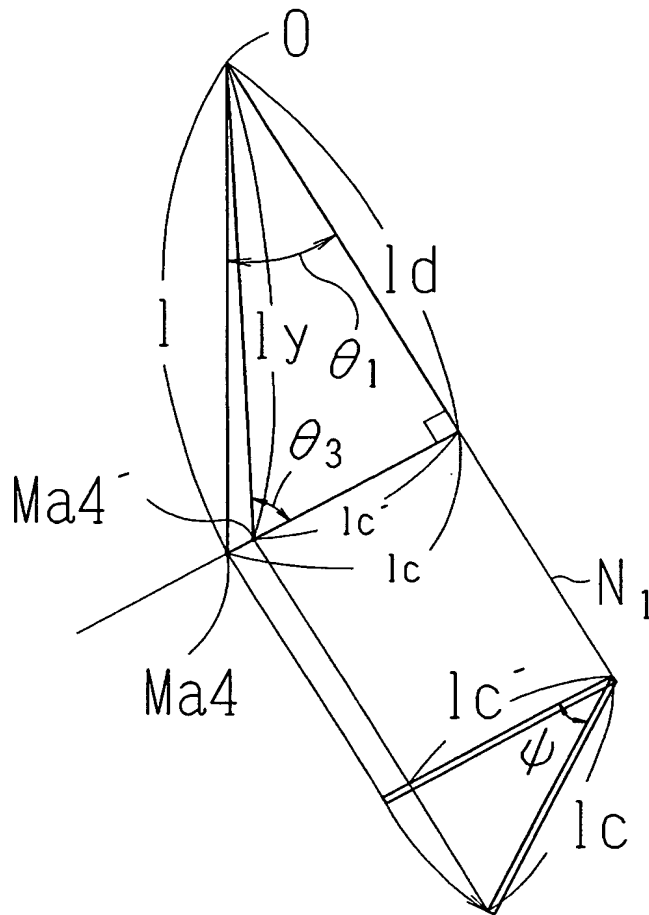
【図 8】



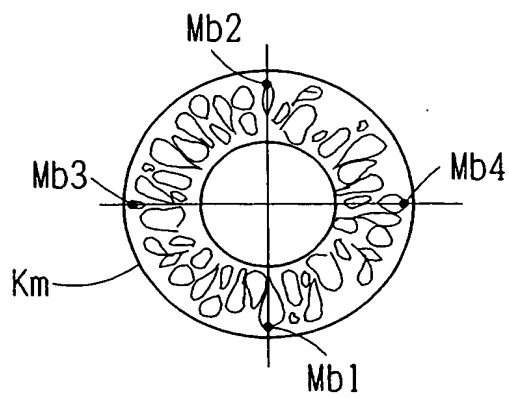
【図 9】



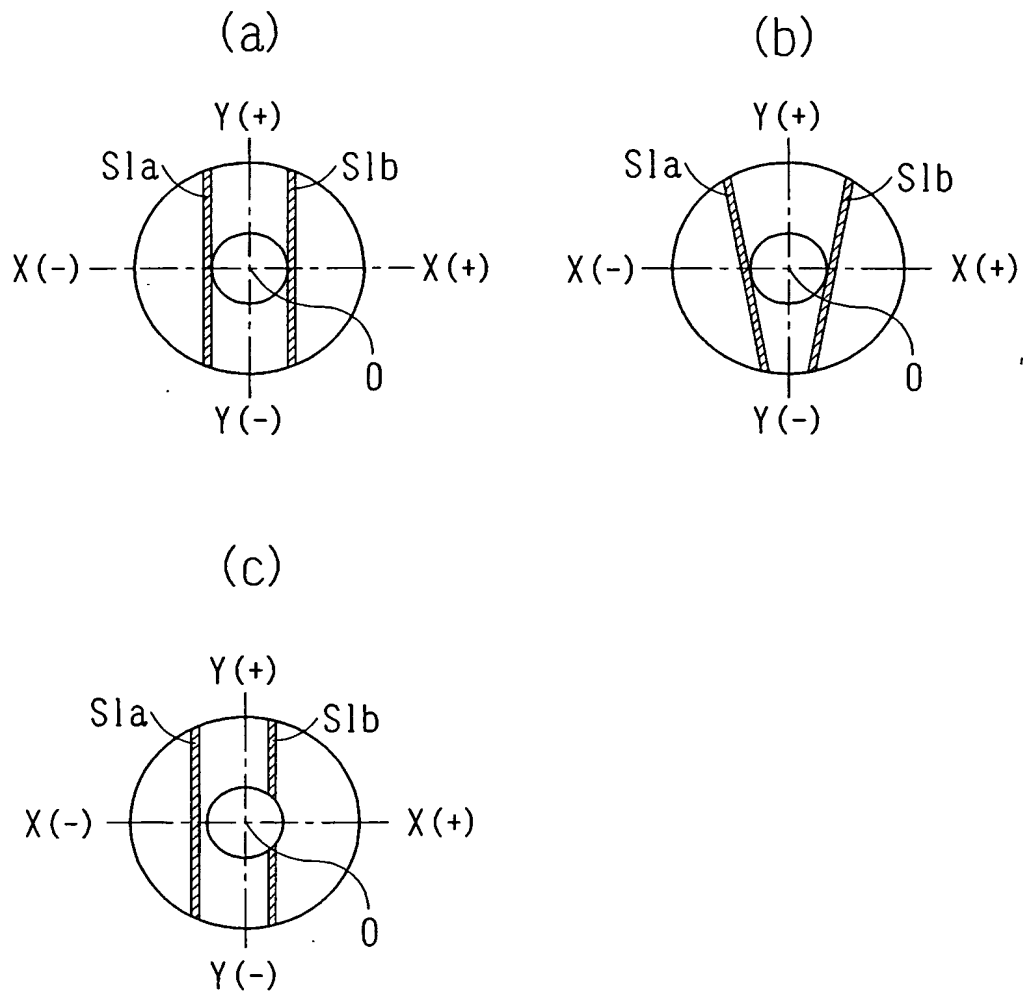
【図 10】



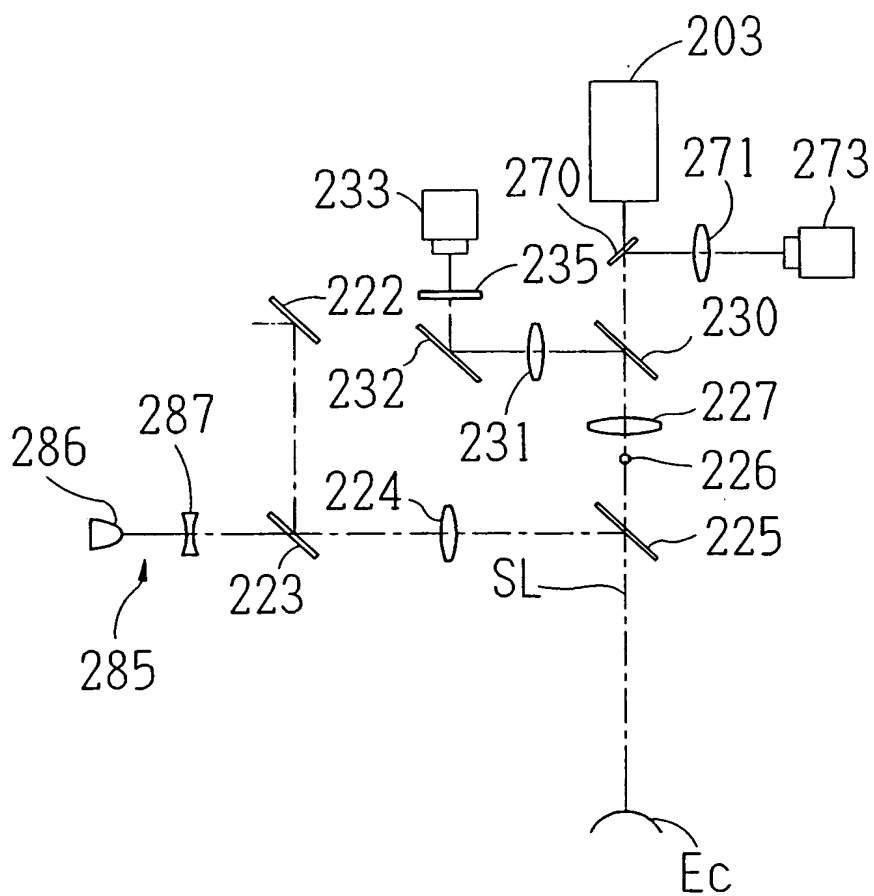
【図 11】



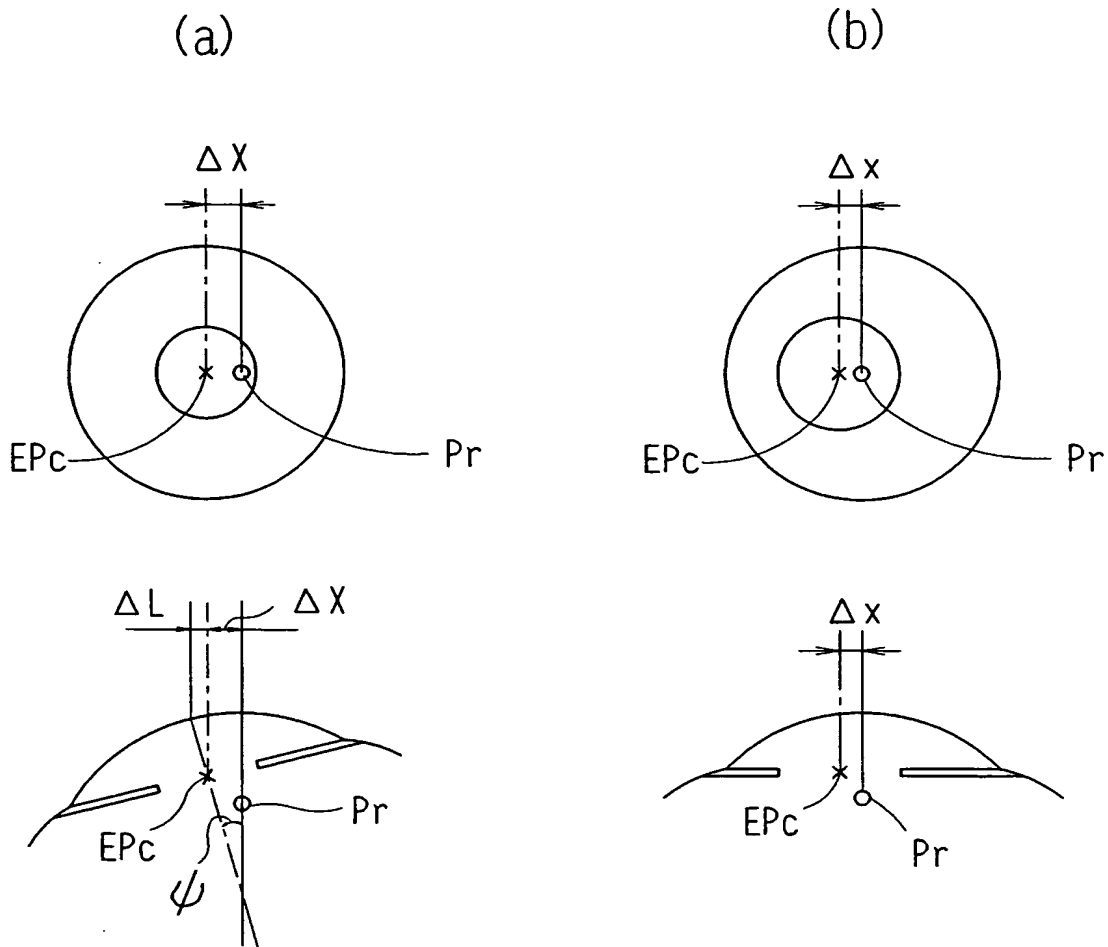
【図 12】



【図 13】



【図 14】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 より精度良く角膜上の所期する位置にレーザ照射できる角膜手術装置を提供する。

【解決手段】 治療用レーザ光を患者眼角膜に照射するためのレーザ照射光学系を備え、レーザ光を角膜の所期する位置に照射する角膜手術装置は、レーザ照射光学系によるレーザ照射位置を移動する移動手段と、患者眼の前眼部像を撮像する撮像手段と、該撮像手段により撮像された画像を処理して前眼部像における特徴点を検出する特徴点検出手段と、該検出された特徴点の位置情報と患者眼が所定の基準状態に置かれたときの前記特徴点の位置情報とに基づいて、患者眼のひき運動状態を検出するひき運動検出手段と、該ひき運動検出手段の検出結果に基づいて前記移動手段を制御する制御手段と、を備える。

【選択図】 図 6

特願 2 0 0 3 - 0 0 6 9 2 9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 1 3 5 1 8 4]

1 . 変 更 年 月 日

1 9 9 0 年 8 月 7 日

[変 更 理 由]

新 規 登 録

住 所

愛 知 県 蒲 郡 市 栄 町 7 番 9 号

氏 名

株 式 会 社 ニ デ ッ ク